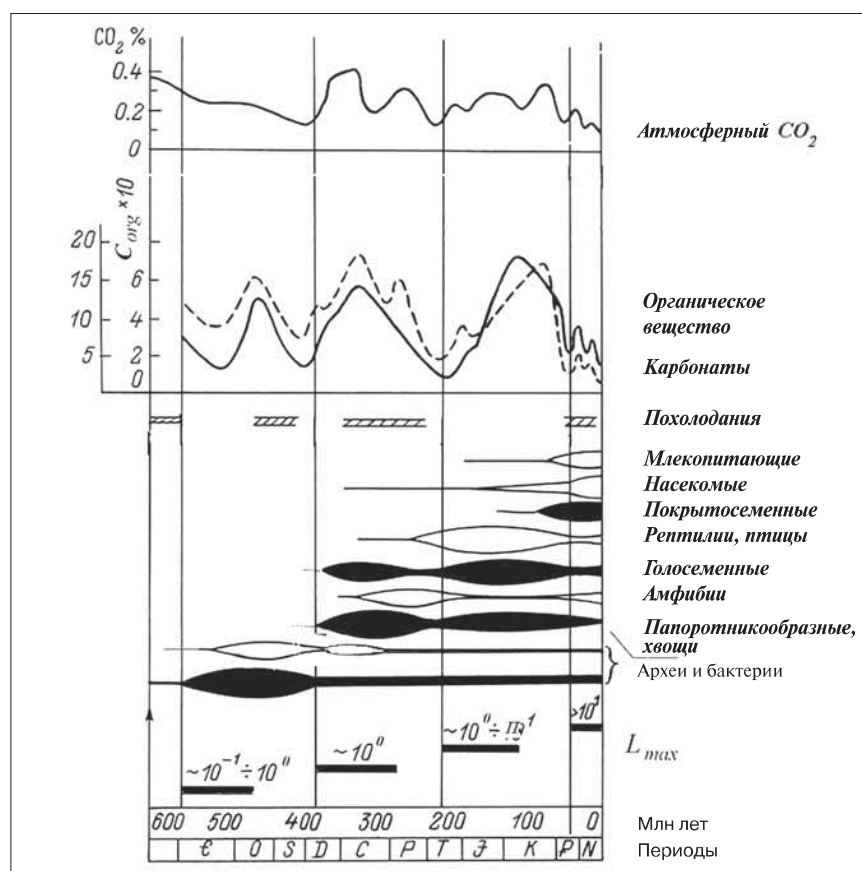


ПЕРЕХОД К УПРАВЛЯЕМОЙ ЭВОЛЮЦИИ БИОСФЕРЫ

Член-корреспондент РАН Алексей ЯБЛОКОВ,
Институт биологии развития им Н.К. Кольцова РАН (Москва),
доктор биологических наук Владимир ЛЕВЧЕНКО,
Институт эволюционной физиологии и биохимии
им. И.М.Сеченова РАН (Санкт-Петербург),
доктор биологических наук Анатолий КЕРЖЕНЦЕВ,
Институт фундаментальных проблем биологии РАН
(г. Пущино Московской области)

Еще академик Владимир Вернадский писал о том, что современный человек по масштабам воздействия на биосферу стал «геологической силой». Но его грандиозная, поистине планетарная деятельность пока имеет стихийный характер. Это связано с непониманием значимости происходящих в биосфере процессов, обеспечивающих пригодные для поддержания жизни свойства среды обитания, а также с недооценкой антропогенной трансформации круговоротов вещества, потоков энергии и информации. Политические и экономические решения принимаются исходя из парадигм предшествующих эпох, в то время как экологическая ситуация на планете стремительно меняется. В ноосферу — сферу взаимодействия общества и природы, в границах которой разумная деятельность людей станет определяющим фактором развития, биосфера может превратиться лишь при условии, что человек («биосоциальное вещество») научится управлять ее эволюцией.

Некоторые черты развития биосферы в фанерозое до антропоцена: изменение концентрации атмосферного CO_2 , динамика образования органики, накопления карбонатов и развития крупных таксонов наземных организмов в фанерозое (по Левченко, 2011). Циклы ≈ 200 млн лет, вероятно, как-то связаны с обращением Солнечной системы вокруг центра Галактики приблизительно с таким же периодом.



РАЗВИТИЕ БИОСФЕРЫ ДО ЧЕЛОВЕКА

В эволюции биосферы в течение фанерозоя* (с кембрия до антропоцена**) прослеживаются циклы в 200 млн лет. Заметим, что этот период близок к периоду обращения Солнечной системы вокруг центра Галактики. К середине каждого цикла усиливалось газоотделение из недр планеты из-за более интенсивных геологических процессов (в том числе существенно увеличивалось количество углекислоты в атмосфере), с некоторым временным сдвигом менялся климат, и возникали принципиально новые группы организмов. Есть данные, что циклично менялось и содержание кислорода в атмосфере, и уровень Мирового океана. Кроме того, при этом проявлялись особенности, связанные с дрейфом континентов и распадом Пангеи (древнего суперконтинента).

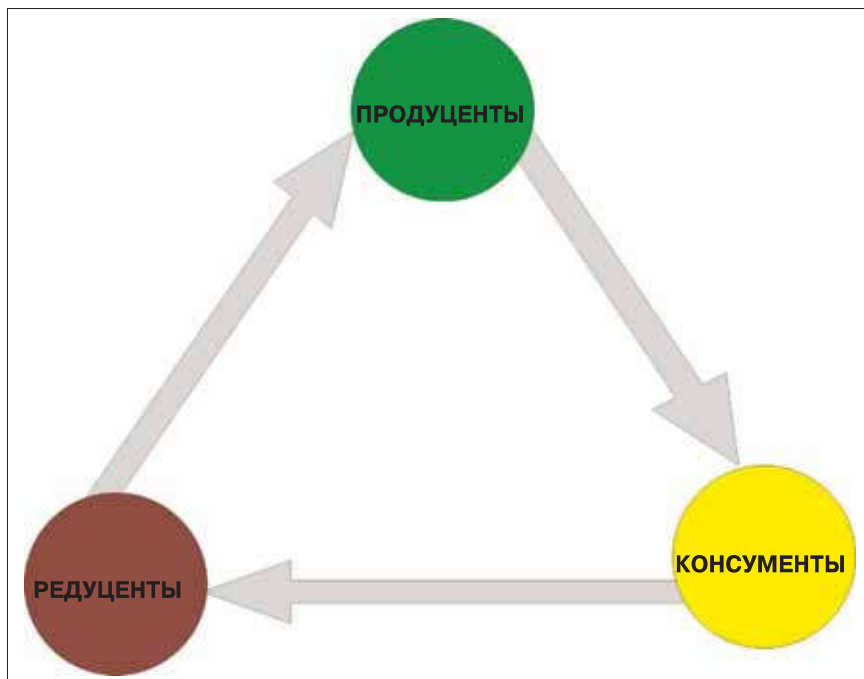
Количество углекислого газа (CO_2) в атмосфере до антропоцена (последние 2 млн лет) регулировалось в биосфере естественными процессами: «быстрым»

углеродным циклом, связанным с жизнедеятельностью организмов, и «медленным», сопряженным с геологическими процессами: CO_2 с разной интенсивностью выделяется из недр и в то же время аккумулируется в углеродсодержащих породах. У каждой геологической эпохи было свое равновесное содержание углекислоты в атмосфере.

К антропоцену основные природные возможности возникновения более эффективных фотосинтезаторов, создающих основную массу органического вещества на поверхности планеты (в экологии их называют растительными продуцентами), по-видимому, были исчерпаны. Это связано как с ограничениями со стороны физиологических и биохимических механизмов самих растений, так и с усложнением структуры растительных сообществ. Задолго до антропоцена возникли максимально эффективные хлорофиллы, использующие солнечную радиацию, а растительные сообщества стали настолько сложными, многоярусными, повсеместными и взаимозаменяемыми, что практически вся доступная для фотосинтеза при любых конкретных условиях часть солнечной энергии полностью ими перехватывалась. Яркий пример такой сверхпродуктивности демонстрируют современные дождевые леса (с годовым количеством осадков не менее 2000–7000 мм). В последние несколько десятков миллионов лет (включая антропоцен) не

*Фанерозой — отрезок времени геологической истории, начавшийся около 550 млн лет назад и продолжающийся в наше время; началом фанерозоя считается кембрийский период (~542–485 млн лет назад) (прим. ред.).

**Антропоцен — термин введен в 2000 г. голландским химиком, специалистом в области химии атмосферы Паулем Крутценом (нобелевский лауреат 1995 г.) для обозначения отрезка истории, в котором деятельность человека начала оказывать серьезное воздействие на окружающую среду (прим. ред.).



Круговорот вещества в биосфере до антропоцена.

появилось принципиально новых, более продуктивных растительных сообществ.

Формирование человека (рода *Номо*) — естественный этап развития биосферы: к моменту его появления она, по-видимому, достигла максимальной сложности за всю свою историю, и это способствовало возникновению и быстрому расцвету высокоорганизованных животных с развитым мозгом, коммуникацией и очень сложным поведением, в частности приматов. Вряд ли такое было бы возможно в случае более просто устроенной биосферы с меньшим биоразнообразием.

Появление Человека разумного (*Homo sapiens*), как вида, вырвавшегося в эволюции из рамок чисто биологических закономерностей, означает принципиальное изменение условий эволюции биосферы: над природными закономерностями (физико-химико-биологическими) постепенно начинают доминировать антропосоциальные. Поэтому выдвинутая в 20-е годы XX в. российским естествоиспытателем и мыслителем Владимиром Вернадским, французским математиком и философом Эдуардом Леруа, а также его соотечественником геологом, палеонтологом и католическим философом Пьером Терьяр де Шарденом концепция возможного перехода от биосферы к ноосфере описывает, скорее всего, закономерное продолжение эволюции материи. Однако вызванный человеком глобальный экологический кризис показывает, что переход — если он произойдет — будет весьма болезненным и для биосферы, и для самого человека.

ПОЧЕМУ БИОСФЕРА «ТРЕЩИТ ПО ШВАМ»?

Глобальный экологический кризис определяется тысячекратно более быстрыми изменениями эволюционно-сложившихся параметров круговоротов ве-

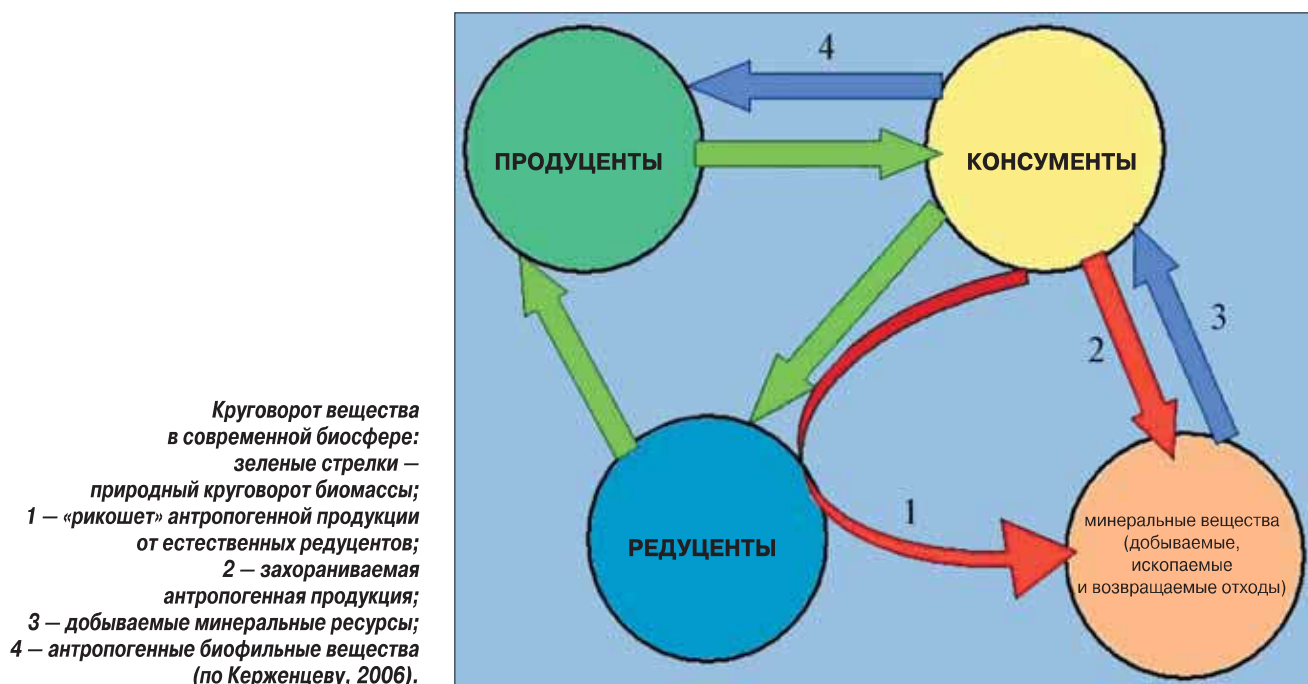
щества, потоков энергии и информации (как суммы генетических кодов и их осуществления) в последние полтора столетия, чем это бывало в прошлые эпохи развития биосферы. Кратко перечислим главные составляющие этого кризиса.

Наблюдается широкое проникновение в биосферу глобальных и «вечных» загрязнителей (стойкие органические загрязнители, радионуклиды, ртуть и др.) — ксенобиотиков, опасных для всего живого. В результате антропогенных выбросов радиоактивных веществ средняя фоновая радиоактивность на поверхности Земли впервые за последние сотни миллионов лет стала расти. По подсчетам, общее число наименований производимых в мире химических веществ и их соединений превышает 250 тыс. Даже в пуповинной крови новорожденных выделяются сотни чужеродных веществ.

Усиливается антропогенное загрязнение атмосферы. В воздух ежегодно выбрасывается около 40 млрд т загрязняющих веществ (более 6 т/чел/год). В 2013 г. концентрация CO_2 достигла максимума за последние по крайней мере 800 тыс. лет (возможно, за 20 млн лет).

Происходит антропогенное изменение лика планеты. Ежегодно добывается более 100 млрд т минеральных веществ (14 т/чел/год), в результате антропогенной эрозии перемещается столько же почвогрунтов. Зарегулирован сток половины речных систем Земли. Площадь лесов сокращается примерно на 100 тыс. $\text{км}^2/\text{год}$. За последние 200 лет уничтожена половина тропических лесов (около 8 млн км^2), к 2030 г. их останется только 10% от существовавших до начала антропоцена.

Отмечается антропогенное изменение климата. Оно проявляется в общем потеплении поверхности планеты, учащении и интенсификации аномальных атмос-



ферных явлений, дестабилизации осадков, подъеме уровня Мирового океана (≈ 3 мм/год).

Сокращается биоразнообразие. По расчетам, ежедневно исчезают несколько видов, а всего в течение XXI в. безвозвратно будут потеряны 50–80% всех видов живых существ. Основная причина их антропогенного вымирания — разрушение местообитаний.

Разрушается экосистема Мирового океана. За последнее столетие он потерял $\approx 40\%$ фитопланктона в результате закисления, вызванного поглощением углекислого газа. Количество крупных рыб в океане сократилось на 90%. Численность 30–40% популяций промысловых видов опасно снижена. Возрастает загрязнение: в некоторых акваториях масса пластиковых частиц почти в шесть раз выше естественной массы планктона. Появляются огромные мусорные острова, увеличивается территория «мертвых зон» (только в Балтике их площадь увеличилась за столетие в 10 раз).

Исследователи фиксируют рост «генетического груза». Локальный всплеск частоты хромосомных aberrаций при химическом и радиационном загрязнении свидетельствует, что поток информации в биосфере (в виде передачи от поколения к поколению генетических кодов) в результате генотоксических изменений среды становится все более «замутненным».

Перечисленные факты говорят о том, что в результате глобального экологического кризиса биосфера как единая система теряет целостность и способность к саморегуляции, можно сказать, «трещит по швам».

СВОЙ В СИСТЕМЕ «ПРОДУЦЕНТ — КОНСУМЕНТ — РЕДУЦЕНТ»

Биосферный круговорот вещества и потоков энергии поддерживаются благодаря возникновению в ходе

эволюции Земли системы «продуцент (синтез сложных органических веществ из неорганических автотрофами и хемотрофами) — консумент (преобразование сложного органического вещества) — редуцент (разложение сложных органических веществ)». До антропоцена этот круговорот был очень устойчив, почти замкнут (из него выпадает около 1% вещества) и очень тонко «настроен».

Человек не только потребляет органическое вещество. Поддерживая функционирование агроценозов, он превратился в его производителя — стал не только консументом, но и продуцентом. Однако если такая деятельность человека в целом сопоставима с масштабами работы доантропогенных продуцентов, то с его деятельностью как консумента дело обстоит иначе. Последняя заметно нарушила естественные, сложившиеся в ходе эволюции биосферы локальные и глобальные круговороты вещества и потоки энергии. Произошло снижение массы естественных продуцентов (вырубка лесов), а также массы редуцентов (распашка и «запечатывание» почвы), но зато увеличилась масса консументов (население Земли превысило 7 млрд человек, число сельскохозяйственных домашних животных исчисляется несколькими миллиардами). Еще один значимый фактор — введение в биосферный круговорот большого количества добываемых минеральных ресурсов, не участвовавших в нем ранее.

Для восстановления нарушенного планетарного баланса в системе «продуцент—консумент—редуцент» человечеству необходимо научиться выполнять функцию редуцента: преобразовывать отходы своей деятельности в простейшие соединения, доступные для использования другими живыми организмами. Необходим рециклинг (повторное использование) антропо-



Морской котик в обрывках рыболовных сетей, остров Южная Георгия в Атлантике.
(Yva Momatiuk & John Eastcott / Minden Pictures / Corbis:
<http://www.foreignaffairs.com/articles/140164/alan-b-sielen/the-devolution-of-the-seas>)

погенной продукции для возвращения в биосферный круговорот изъятого из него вещества.

Для восстановления нарушенного биосферного баланса человечеству также необходимо откорректировать (возможно, даже расширить) производство первичного органического вещества, т.е. усилить свою роль продуцента.

Приходится констатировать: в настоящее время человечество использует избыточное количество минеральных ресурсов и энергии. Во многом это происходит только потому, что оно не ушло от парадигмы неолитического времени: мы относимся к биосфере исключительно как к неисчерпаемому ресурсу для собственного развития, но не как к жизнеобеспечивающей и суверенной единице жизни.

Если человек будет выполнять в биосфере не только функции консумента и продуцента, но и третью базовую экологическую функцию — редуцента, то из стихийной «геологической силы» и потребителя он сможет превратиться в разумного хозяина, «мозг» биосферы. При этом землянам, несомненно, потребуются меньше энергии и минеральных ресурсов, масштабная добыча и неэффективное использование которых (97–98% превращаются в отходы) является важным фактором нарушения жизнеобеспечивающих функций природной среды. Человек сможет ослабить ресурсно-потребительское давление на биосферу, что уменьшит напряжение, вызванное глобальным экологическим кризисом, и облегчит переход к ноосфере.

Схематически обозначенный выше подход лежит в основе концепции «кризисного управления эволюцией биосферы». Этот подход, по-видимому, преодолевает методологические ограничения концепции «устойчивого развития», в рамках которой биосфера, как самостоятельная единица жизни, вообще не рассматривается, а обсуждаются лишь представляющиеся экономически выгодными (обычно — в краткосрочной перспективе) мероприятия на локальных уровнях. Мы же полагаем, что для выхода из глобального экологического кризиса необходимо в первую очередь восстановить баланс планетарных круговоротов.

ЭЛЕМЕНТЫ «КРИЗИСНОГО УПРАВЛЕНИЯ»

Антропоцентричное представление о биосфере только как о «вместилище жизни» и неисчерпаемом ресурсе — упрощенное и недостаточное. Биосфера — суверенная единица жизни, объединяющая все живое, включая человека, в единую сеть — «паутину жизни», как назвал ее американский физик австрийского происхождения Фритьоф Капра. Эта паутина, физически существующая на планете в виде косного (неживого), биокосного (океан, почва, атмосфера) и живого вещества, порождает «биосоциальное вещество», которое могло бы стать «сферой разума» — ноосферой.

Академик Николай Вавилов* в 1926 г. ввел в науку термин «управляемая эволюция» по отношению к созданию человеком культурных растений. Сегодня логично расширить содержание этого термина до управления эволюцией всей биосферы. Не исключено, что парадигма управляемой эволюции может стать ведущей парадигмой развития человечества на все обозримое будущее. С другой стороны, ее можно рассматривать как своего рода «инкарнацию» концепции «Человек и биосфера», сформулированную в конце 1950-х — начале 1960-х годов и послужившую идеологической основой для концепции «устойчивого развития». Однако реализация идей управляемой эволюции биосферы сегодня приостановлена разразившимся глобальным экологическим кризисом.

Современный уровень технологий и теоретических разработок позволяет целенаправленно исправлять нарушенные и воссоздавать разрушенные жизнеобеспечивающие экосистемы на локальном, региональном и глобальном уровнях, восстанавливая измененное в антропоцене динамическое равновесие биосферы. Среди направлений практических действий по восстановлению нарушенных экосистем (назовем их элементами кризисного управления эволюцией биосферы) упомянем следующие. Создание полуприродных высокопродуктивных экосистем (например,

*См.: В. Драгавцев. «Желание служить общему благу». — Наука в России, 2003, № 3; Т. Авруцкая. «Жизнь я привык связывать с наукой». — Наука в России, 2012, № 5 (прим. ред.).

Пример создания новых антропогенных экосистем: плантации сорго среди пальм и акаций (Буркино-Фасо, Африка). [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Faidherbia albida](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Faidherbia_albida)



направленным отбором на повышение эффективности использования растениями солнечной энергии на фотосинтез, или отбором на интенсификацию фотосинтеза при повышенном содержании CO_2). Переход от монокультур к поликультурам в сельском хозяйстве, от промысла к хозяйству по отношению ко всем добываемым (промышленным) живым природным ресурсам. Переход от «борьбы» с нежелательными видами к управлению их численностью (соответственно, прекращение антропогенного потока ксенобиотиков, специально вносимых для этого в окружающую среду). Резкое расширение спектра окультуренных и одомашненных видов. Создание новых форм живых организмов (например, более эффективных редуцентов, способных перерабатывать хлорированные углеводороды типа ДДТ, ПХБ (полихлорированные бифенилы) и другие стойкие органические загрязнители). Наконец, надежная изоляция «вечных» поллютантов (например, решение проблемы захоронения радиоактивных отходов).

Для исправления нарушений в биосфере необходимо направленное восстановление и защита от дальнейшей деградации жизнеобеспечивающих функций биосферы. Частично это можно сделать путем расширения системы особо охраняемых природных территорий (освобождение природы от человека). И еще — спасая оставшееся биоразнообразие, снижая нагрузку генотоксических веществ на генофонд человека и природы, уменьшая потребление ресурсов и энергии с помощью новых технологий.

Радикальным шагом на пути к управлению эволюцией биосферы мог бы стать переход от неорганических к органическим технологиям. Они предполагают целенаправленную замену всех конструкционных материа-

лов на основе неорганических веществ (включая металлы) на органические материалы, которые могут утилизироваться организмами-редуцентами. В целом необходимо двигаться от использования невозобновляемых ресурсов к применению возобновляемых.

Такой переход к кризисному управлению развитием биосферы потребует участия специалистов практически всех научных дисциплин. Главный же философский вопрос новейшего времени будет при этом звучать так: «Чего же человек хочет?».

И в заключение. В парадигме управляемой эволюции биосферы человек является и главным объектом, и субъектом управления. Он исправляет нарушенные им же экосистемы и разрабатывает технологии жизнеобеспечения биосферы и его самого. Это и будет ноосфера. Окажется ли этот путь реализованным в ходе эволюции биосферы или же движение пойдет по пути ее самоосвобождения от человечества, как «ошибочного зигзага» глобальной эволюции (по дискуSSIONному выражению британского исследователя Джеймса Лавлока)? Ответ зависит в немалой степени от глубины осознания масштабов и последствий нарушения естественных природных процессов на протяжении антропоцена и способности человечества предпринять усилия в направлении кризисного управления развитием биосферы.

Статья подготовлена на основе доклада, прочитанного в Государственном Дарвиновском музее на II Международной конференции «Современные проблемы биологической эволюции» (11-14 марта 2014 г.)

Иллюстрации предоставлены авторами